

[4] 2002473019 36  
(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
1. Februar 2001 (01.02.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/07972 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G05B 13/02

(DE). SCHÄFFLER, Stefan [DE/DE]; Paul-Linke-Str.  
15, D-86199 Augsburg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE00/02403

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGE-  
SELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München  
(DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
24. Juli 2000 (24.07.2000)

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,  
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,  
NL, PT, SE).

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
199 34 712.3 23. Juli 1999 (23.07.1999) DE

**Veröffentlicht:**

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen.

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE];  
Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen  
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on  
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe  
der PCT-Gazette verwiesen.

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HILLERMEIER,  
Claus [DE/DE]; Westerbuchberg 71, D-83236 Übersee

WO 01/07972 A1

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DESIGNING A TECHNICAL SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUM ENTWURF EINES TECHNISCHEN SYSTEMS

(57) Abstract: The invention concerns an operating point for designing a technical system which is defined by iteration, a present operating point being determined in the direction of a gradient whereto is superposed a random value. If the present operating point is located outside the permissible range, it is projected into said permissible range.

(57) Zusammenfassung: Es wird iterativ ein Arbeitspunkt zum Entwurf eines technischen Systems bestimmt, indem in Richtung eines mit einer Zufallsgröße überlagerten Gradienten ein aktueller Arbeitspunkt ermittelt wird. Liegt der aktuelle Arbeitspunkt außerhalb eines zulässigen Bereichs, so wird der aktuelle Arbeitspunkt in den zulässigen Bereich projiziert.

Beschreibung**Verfahren und Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems**

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems.

Für den Entwurf eines komplexen technischen Systems sind bereits in einer frühzeitigen Planungsphase signifikante Größen dieses Systems, z.B. Kosten für die Herstellung oder Wirkungsgrad während der Laufzeit, von großem Interesse. Eine Realisierung des Systems erfolgt oft anhand empirisch bekannt gewordener Parameter (Auslegungsparameter).

- 15 Weiterhin sind oftmals Betriebsparameter für einen Betrieb des bereits bestehenden technischen Systems anzupassen. Diese Anpassung (Einstellung) basiert zumeist auf speziellem Fachwissen.

- 20 Dabei ist es von Nachteil, daß sowohl die Auslegung als auch die Einstellung des technischen Systems lediglich auf empirischem Wissen beruht.

- Die **Aufgabe** der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, die oben beschriebene Nachteile vermeidet und somit sicherstellt, daß für ein komplexes technisches System eine effiziente Auslegung bzw. Einstellung automatisch erfolgt.

- 30 Diese Aufgabe wird gemäß den Merkmalen der unabhängigen Patentansprüche gelöst. Weiterbildungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

- Eine Zielfunktion ist gegeben als eine Funktion, die eine Zielgröße, z.B. Kosten oder Wirkungsgrad des technischen Systems, abhängig von vorgegebenen Parametern des Systems angibt. Derartige Parameter können Auslegungsparameter oder Be-

triebsparameter sein. Die Zielfunktion umfaßt eine vorgegebene Menge  $n$  Parameter, die in einem Parametervektor  $\underline{x}$  zusammengefaßt sind:

$$5 \quad x_1, x_2, \dots, x_n) = \underline{x}^T \quad (1).$$

Das hochgestellte "T" deutet an, daß der Vektor  $\underline{x}$  transponiert ist.

- 10 Ein Beispiel für Auslegungsparameter sind Abmessungen des technischen Systems, während Betriebsparameter vorzugsweise einstellbare Größen benennen.

Die Zielfunktion  $f$  ist von  $n$  Parameter abhängig, die  $n$  Parameter spannen demnach einen Raum  $R^n$  auf. In diesem Raum  $R^n$  sind nicht alle möglichen Kombinationen an Werten für die  $n$  Parameter zulässig. In vielen Fällen würde das technische System entweder einen sicherheitskritischen Zustand erreichen oder auf eine unzulässige Wertebelegung der Parameter nicht  
20 geeignet reagieren. Demzufolge wird ein Raum  $D \subseteq R^n$  bestimmt, der eine (echte) Teilmenge des Raums  $R^n$  ist. In dem Raum  $D$  sind alle zulässigen Kombinationen von Wertebelegungen der Parameter zusammengefaßt. Nachfolgend werden diese zulässigen Kombinationen von Wertebelegungen auch als Arbeitspunkte (=gültige Auslegungs- bzw. Betriebsparameter des technischen Systems) bezeichnet.  
25

Es soll nun ein Arbeitspunkt im Raum  $D$  bestimmt werden, der dort einen "effizienten" (Arbeits-)Punkt darstellt. Ein effizienter Arbeitspunkt zeichnet sich dadurch aus, daß kein Parameter dieses Arbeitspunkts mehr verändert werden kann, ohne daß dadurch eine Verschlechterung der zugehörigen Zielfunktion herbeigeführt würde. Der effiziente Arbeitspunkt stellt somit zumindest ein lokales Optimum einer Wertebelegung der  
30 Parameter des Parametervektors im Raum der als zulässig vorbestimmten Parametervektoren (Arbeitspunkte) dar.  
35

Die nachfolgende Kennzeichnung eines Entwurfs eines technischen Systems umfaßt sowohl eine Auslegung, also den Entwurf bezogen auf eine Neuschaffung, als auch eine Anpassung eines bereits bestehenden Systems. Der zu ermittelnde effiziente  
5   Arbeitspunkt kennzeichnet die Auslegung bzw. Einstellung des technischen Systems, was in einem optimierten Betrieb desselben resultiert.

10   Zur Lösung der Aufgabe wird ein Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems angegeben, welches technische System eine Menge gültiger Arbeitspunkte umfaßt. Das Verfahren umfaßt dabei die folgenden Schritte:

- 15       a) Für das technische System ist eine Zielfunktion vorgegeben, die von einem Parametervektor  $\underline{x}$  mit  $n$  Parametern beeinflusst wird.
- 20       b) Ein mit einer Zufallsgröße überlagerter Gradient der Zielfunktion wird bezüglich des Parametervektors  $\underline{x}$  ermittelt.
- 25       c) Ein neuer Parametervektor  $\underline{x}_n$  wird, ausgehend von dem Parametervektor  $\underline{x}$  ermittelt, indem in Richtung des mit der Zufallsgröße überlagerten Gradienten mit einer vorgegebenen Schrittweite verfahren wird.
- 30       d) Anhand vorgegebener Nebenbedingungen wird überprüft, ob der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Arbeitspunkt (im oben beschriebenen Raum  $D$ ) ist bzw. ob eine Abbruchbedingung erfüllt ist.
- 35       e) Falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  kein gültiger Arbeitspunkt ist, also nicht im Raum  $D$  aller zulässigen Arbeitspunkte liegt, und zusätzlich die Abbruchbedingung nicht erfüllt ist, wird der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  in den Raum  $D$  projiziert und der projizierte Parametervektor als neuer Parametervektor  $\underline{x}_n$  eingesetzt.

Danach wird zu Schritt b) verzweigt.

5 f) Ist der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Arbeitspunkt und ist die Abbruchbedingung nicht erfüllt, so wird der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  als Parametervektor  $\underline{x}$  eingesetzt und zu Schritt b) verzweigt.

10 g) Falls die Abbruchbedingung erfüllt ist, wird der ermittelte Parametervektor als Arbeitspunkt zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt.

15 Mit dem beschriebenen Verfahren ist es somit möglich, aus einem Raum D zulässiger Arbeitspunkte einen effizienten Arbeitspunkt zu bestimmen. Dieser effiziente Arbeitspunkt kann sowohl Betriebsparameter oder Auslegungsparameter des technischen Systems umfassen.

20 Eine Weiterbildung besteht darin, daß die Projektion unter Berücksichtigung von Nebenbedingungen erfolgt. Es können mehrere Nebenbedingungen gegeben sein, die bei der Bestimmung des Arbeitspunktes zu berücksichtigen sind. Eine Nebenbedingung wird formuliert zu

$$25 \quad h_i(\underline{x}) \leq 0 \quad (1),$$

wobei  $h_i(\underline{x})$  eine Nebenbedingung i für den Parametervektor  $\underline{x}$  bezeichnet.

30 Gemäß einer Ausgestaltung kann zusätzlich zur Projektion in den Raum zulässiger Arbeitspunkte eine Schrittweitenhalbie- rung erfolgen. Durch iterative Ermittlung eines jeweils nächsten Parametervektors  $\underline{x}_n$  ergibt sich ein Pfad, der von einem Start-Parametervektor hin zu einem effizienten Punkt führt. Von einem Parametervektor zum nächsten wird mit einer vorge-  
35 gebenen Länge der Pfad fortgesetzt. Diese vorgegebene Länge (= Schrittweite) kann verkürzt, insbesondere halbiert, werden, falls der nächste Parametervektor außerhalb des Raums D

liegt. Liegt der nächste Parametervektor dann immer noch außerhalb des Raums  $D$ , so kann eine erneute Verkürzung und/oder die Projektion erfolgen.

- 5 Weist im Rahmen einer Weiterbildung der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  weniger als einen vorgegebenen Mindestabstands vom Rand des Raums  $D$  auf, so werden folgende Schritte durchgeführt:

10 a) Führt ein nachfolgender Parametervektor aus dem Raum  $D$ , so wird von diesem nachfolgenden (außerhalb des Raums  $D$  liegenden) Parametervektor ein Lot auf eine Tangentialebene des Randes des zulässigen Raums  $D$  gefällt und dort der nachfolgende Parametervektor festgelegt.

15

- b) Ansonsten wird der nachfolgende Parametervektor nicht verändert, falls er nicht außerhalb des Raums  $D$  liegt.

20 Eine zusätzliche Weiterbildung besteht darin, daß die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn eine vorgegebene Anzahl Iterationen durchgeführt worden ist.

25 Eine andere Weiterbildung besteht darin, daß die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn der Gradient einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet. Wird mit einem neuen Parametervektor entlang des Pfades (wiederholt) eine verschwindend geringe Verbesserung erreicht, so wird das Verfahren automatisch beendet.

30 Auch ist es eine Weiterbildung der Erfindung, daß derjenige Arbeitspunkt aus einer Menge von Arbeitspunkten als das Verfahren abschließender effizienter Arbeitspunkt bestimmt wird, der quantitativ, eingesetzt in die jeweilige Zielfunktion, zu dem besten Ergebnis führt. Dazu werden die im Verfahren  
35 schrittweise bestimmten Arbeitspunkte zwischengespeichert, so daß in einem abschließenden Vergleich der beste aller gespeicherten Arbeitspunkte ermittelt werden kann.

Insbesondere ist es nützlich, die auf diese Art ermittelten  
Arbeitspunkte ihrer Güte nach zu sortieren, um ggf. auf einen  
nächstbesten Arbeitspunkt ausweichen zu können, falls eine  
5 Auslegung oder eine Einstellung eines technischen Systems  
nicht gewünscht oder nicht realisierbar ist.

Schließlich ist es auch eine Weiterbildung, daß das techni-  
sche System anhand des gefundenen effizienten Arbeitspunktes  
10 realisiert wird. So wird z.B. ein Kraftwerk nach den Ausle-  
gungsparametern, die Ergebnis eines der beschriebenen Verfah-  
ren sind, gebaut oder ein bereits bestehendes Kraftwerk nach  
durch die Parameter bestimmten Betriebsparametern einge-  
stellt.

15

Im Rahmen einer zusätzlichen Ausgestaltung ist der mit einer  
Zufallsgröße überlagerte Gradient der Zielfunktion gegeben  
durch

$$20 \quad d\mathbf{x} = -\nabla f(\mathbf{x})dt + \varepsilon \cdot dB \quad (2),$$

wobei

$\mathbf{x}$  den Parametervektor,  
 $-\nabla f(\mathbf{x})$  den negativen Gradienten der Zielfunktion  $f$ , ab-  
25 hängig vom Parametervektor  $\mathbf{x}$ ,  
 $\varepsilon$  eine Skalierungskonstante der Zufallsgröße  $B$  und  
 $B$  die Zufallsgröße  
bezeichnen.

30 Zur Lösung der Aufgabe wird weiterhin eine Anordnung zum Ent-  
wurf eines technischen Systems angegeben, welches technische  
System eine Menge gültiger Arbeitspunkte umfaßt. Dabei weist  
die Anordnung eine Prozessoreinheit auf, die derart einge-  
richtet ist, daß

35

a) das technische System eine Zielfunktion umfaßt, welche  
Zielfunktion von einem Parametervektor  $\mathbf{x}$  mit  $n$  Parame-

7

terwerten beeinflußbar ist;

5 b) ein mit einer stochastischen Größe überlagerter Gradient der Zielfunktion bezüglich des Parametervektors  $\underline{x}$  ermittelbar ist;

10 c) ein neuer Parametervektor  $\underline{x}_n$  ausgehend von dem Parametervektor  $\underline{x}$  mit vorgegebener Schrittweite in Richtung des mit einer Zufallsgröße überlagerten Gradienten ermittelbar ist;

15 d) anhand vorgegebener Nebenbedingungen überprüfbar ist, ob der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Arbeitspunkt ist oder ob eine Abbruchbedingung erfüllt ist;

20 e) falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  kein gültiger Arbeitspunkt ist und die Abbruchbedingung nicht erfüllt ist, eine **Projektion** des neuen Parametervektors  $\underline{x}_n$  in den Raum gültiger Arbeitspunkte durchgeführt und zu Schritt b) verzweigt wird;

25 f) falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Arbeitspunkt ist und die Abbruchbedingung nicht erfüllt ist, dieser neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  als Parametervektor  $\underline{x}$  gesetzt und zu Schritt b) verzweigt wird;

30 g) falls die Abbruchbedingung erfüllt ist, der ermittelte Parametervektor als Arbeitspunkt zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt wird.

Diese Anordnung ist insbesondere geeignet zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens oder einer seiner vorstehend erläuterten Weiterbildungen.

35

Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich auch aus den abhängigen Ansprüchen.



Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung dargestellt und erläutert.

5 Es zeigen

Fig.1 eine Skizze, die einen Raum  $D \subseteq \mathbb{R}^n$  darstellt;

10 Fig.2 eine Skizze, die einen Ausschnitt von Fig.1 darstellt und zeigt, was jeweils ein ungültiger Parametervektor (außerhalb des Raums  $D$ ) und ein gültiger Arbeitspunkt ist;

15 Fig.3 eine Skizze, die zeigt, wie ein Gebiet  $D$  durch mehrere Nebenbedingungen bestimmt ist;

Fig.4 eine erste Möglichkeit für eine Projektion des nächsten Parametervektors in das Gebiet  $D$ ;

20 Fig.5 eine zweite Möglichkeit für eine Projektion des nächsten Parametervektors in das Gebiet  $D$ ;

Fig.6 ein Flußdiagramm, das ein erstes Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems darstellt;

25

Fig.7 eine Prozessoreinheit.

Figur 1 zeigt eine Skizze, die einen Raum  $D \subseteq \mathbb{R}^n$  darstellt.  
30 Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist eine Dimension  $n=2$  gewählt, der "Raum" entspricht somit einer Ebene. Bei realen Systemen und Anlagen wird in der Regel ein hochdimensionaler Raum eingesetzt, die Einflüsse der Parameter auf die Zielfunktion  $f$  ist in diesem Raum hochkomplex und oft nur anhand  
35 einer Computersimulation bestimmbar. So wird in dem hochdimensionalen Raum ein Funktionswert  $f(\underline{x})$  dahingehend über-

prüft, ob er in dem zulässigen Gebiet  $D$  der Arbeitspunkte liegt oder nicht.

5 Im vorliegenden Fall von Figur 1 ist durch die Übersichtlichkeit der zweidimensionalen Darstellung der Zusammenhang anschaulich erklärbar. Die Übertragung in einen  $n$ -dimensionalen Raum ( $n > 2$ ) erfolgt analog.

10 Wie erwähnt, wird durch die Parameter  $x_1$  und  $x_2$  eine Ebene aufgespannt. Die Parameter werden dabei ohne Einschränkung als positiv angenommen. Die Parameter  $x_1$  und  $x_2$  werden in einem Parametervektor  $\underline{x}$  zusammengefaßt. Es ist ferner das Gebiet  $D$  (hier eine Fläche, da  $n=2$ ; bei  $n > 2$  ist  $D$  ein Raum) eingezeichnet, das einen Teil der gesamten  $x_1, x_2$ -Fläche (gekennzeichnet durch  $R^2$ ) einnimmt. Ein innerhalb der Fläche  $D$  liegender Parametervektor  $\underline{x}$  ist ein gültiger Arbeitspunkt, außerhalb der Fläche  $D$  enthält der Parametervektor  $\underline{x}$  eine für das technische System ungültige Wertbelegung seiner Parameter  $x_1$  und  $x_2$ .

20

Ein Parametervektor  $\underline{x}_0$  mit den Parametern (Koordinaten)  $x_{10}$  und  $x_{20}$  stellt einen Startpunkt dar. Ein Pfad  $P_f$ , der einen möglichen Verlauf zu einem effizienten Arbeitspunkt zeigt, endet in einem Punkt  $\underline{x}_i$ . Ausgehend von diesem Punkt  $\underline{x}_i$  zeigt 25 eine nächste Richtung mit einer vorgegebenen Länge auf einen Punkt außerhalb des Gebiets  $D$ . Wie in so einem Fall verfahren wird, ist in den Figuren 2 und 3 dargestellt und wird nachfolgend erläutert.

30 Hierbei sei angemerkt, daß der Verlauf des Pfades  $P_f$  in Figur 1 als kontinuierlicher Verlauf dargestellt ist, tatsächlich aber abschnittsweise diskret, also je Abschnitt in eine ermittelte Richtung mit einer vorgegebenen Schrittweite, verläuft. Wählt man die Abschnitte hinreichend klein, so er- 35 scheint der Pfad  $P_f$  als kontinuierlicher Kurvenverlauf.

Wie bereits erwähnt, ist es nicht immer möglich, den Funktionswert der Zielfunktion analytisch zu ermitteln. Vielfach wird dieser Funktionswert zu einer bestimmten Wertebelegung des Parametervektors anhand eines Simulators mit beliebigem Aufwand errechnet. Das Ergebnis liefert einen Wert für den Parametervektor, der (allgemein) einen Punkt im Raum  $R^n$  darstellt. Dieser Punkt wird dahingehend überprüft, ob er im Bereich der gültigen Arbeitspunkte  $D$  liegt. Die weiteren Schritte werden nachfolgend eingehend beschrieben. Wichtig ist in diesem Zusammenhang nur, daß es keine Rolle spielt, auf welche Art die Funktionswerte erhalten werden. Lediglich analytisch können sie zumeist nicht bestimmt werden.

Figur 2 stellt den Ausschnitt 101 aus Figur 1 vergrößert dar. Wieder sind der Raum  $D$  (hier eine Fläche) und der Punkt  $\underline{x}_i$  zu erkennen. Auch ein Teil des Pfades  $P_f$ , der zu dem Punkt  $\underline{x}_i$  geführt hat, ist eingezeichnet. Der Pfad  $P_f$  umfaßt hier mehrere abschnittsweise diskrete Strecken.

Nun wird ausgehend vom Punkt  $\underline{x}_i$  eine neue Richtung ermittelt, die mit einer vorgegebenen Länge zu einem Punkt 202 zeigt. Der Punkt 202 liegt außerhalb des Gebiets  $D$  der zulässigen Arbeitspunkte. Demnach wird der Punkt 202 nicht Bestandteil des Pfades  $P_f$ . Um einen gültigen Punkt zu erhalten, über den der Pfad  $P_f$  fortgesetzt werden kann, wird der Punkt 202 verworfen und ein Punkt (z.B. Punkt 203) bestimmt, entlang dessen der Pfad innerhalb des Gebiets  $D$  fortgesetzt werden kann. Wie aus einem unzulässigen Punkt 202 ein zulässiger Punkt 203 ermittelt wird, wird nachfolgend erläutert.

30

In Figur 3 ist beispielhaft ein Gebiet  $D$  gezeigt, das durch mehrere Nebenbedingungen  $h_1$ ,  $h_2$  und  $h_3$  bestimmt ist. Der Parametervektor  $\underline{x}$  liegt in diesem Gebiet  $D$  und ist somit eine zulässige Belegung, da alle Nebenbedingungen für diesen Parametervektor  $\underline{x}$  erfüllt sind.

**Figur 4** zeigt eine Projektion eines außerhalb des Gebiets  $D$  liegenden Parametervektors  $\underline{x}_{i+1}$ . Zu dem Parametervektor  $\underline{x}_i$  401 wird ein neuer Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$  402 bestimmt, der außerhalb des Gebiets  $D$ , angezeigt durch die begrenzende Nebenbedingung  $h_i$ , liegt. Der Punkt 402 (Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$ ) wird auf den Rand des Gebiets  $D$  projiziert, es ergibt sich somit der Punkt 403 als gültiger neuer Parametervektor  $\underline{x}_{i+1}$ . Somit ist gewährleistet, daß der Pfad  $P_f$  das Gebiet  $D$  nicht verläßt. Die Projektion erfolgt, indem das Lot auf eine Tangente (im Fall  $n > 2$ : Tangentialebene) durch den Punkt  $\underline{x}_i$  gefällt wird, wobei der Schnittpunkt des Lots mit dem Rand von  $D$  den Punkt 403 bestimmt.

Eine alternative Projektion ist in **Figur 5** gezeigt. Ausgehend von einem Punkt 501 wird der nachfolgende Punkt 502 in das Gebiet  $D$  projiziert, indem in dem Punkt 502 das Lot auf die Strecke vom Punkt 501 zum Punkt 502 gefällt wird. Der Schnittpunkt mit der Gebietsgrenze  $h_i$  legt den Punkt 503 als neuen, zulässigen, dem Punkt 501 nachfolgenden Parametervektor fest.

Weiterhin wird für das Gebiet  $D$  in einem vorgegebenen Abstand von der Gebietsgrenze, die durch die jeweilige Nebenbedingung  $h_i$  gegeben ist, ein Rand  $R$  bestimmt. Liegt ein nächster Parametervektor im Bereich zwischen dem Rand  $R$  und der Gebietsgrenze  $h_i$ , so erfolgt bereits eine Projektion, um einen nächsten Punkt mit hoher Sicherheit von einer Richtung, aus dem Gebiet  $D$  abzulenken.

**Figur 6** zeigt Schritte eines Flußdiagramms zum Entwurf eines technischen Systems, insbesondere zu einer Arbeitspunktbestimmung desselben.

In einem Schritt 601 ist eine Zielfunktion gegeben, welche Zielfunktion durch einen Parametervektor  $\underline{x}$  mit einer Anzahl  $n$  Parameter beeinflusst wird. In einem anschließenden Schritt 602 wird, vorzugsweise ausgehend von einem Start-

Parametervektor  $\underline{x}_0$  ein mit einer Zufallsgröße überlagerter Gradient der Zielfunktion ermittelt. In einem Schritt 603 wird in Richtung des mit der Zufallsgröße überlagerten Gradienten mit einer vorgegebenen Schrittweite verfahren, es ergibt sich ein neuer Parametervektor  $\underline{x}_n$ . Ist eine Abbruchbedingung erfüllt (vgl. Schritt 604), d.h. falls eine vorgegebene Schranke für eine Anzahl von Iterationsschritten bereits überstiegen worden ist, wird das Verfahren in einem Schritt 608 beendet, und es wird der beste Arbeitspunkt aus einer mit dem Verfahren ermittelten Menge gültiger Arbeitspunkte bestimmt. Ist hingegen die Abbruchbedingung in Schritt 604 (noch) nicht erfüllt, so wird in einem Schritt 605 abgefragt, ob der neu ermittelte Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Arbeitspunkt ist, also ob der Parametervektor  $\underline{x}_n$  in dem Raum D liegt. Ist dies der Fall, so wird der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  als Parametervektor  $\underline{x}$  gesetzt (vgl. Schritt 607) und zu Schritt 602 gesprungen. Ist dies hingegen nicht gegeben, so erfolgt in einem Schritt 606 eine Projektion (wie oben beschrieben), es wird der projizierte Parametervektor als neuer Parametervektor gesetzt (vgl. Schritt 607) und zu Schritt 602 verzweigt.

In Figur 7 ist eine Prozessoreinheit PRZE dargestellt. Die Prozessoreinheit PRZE umfaßt einen Prozessor CPU, einen Speicher SPE und eine Input/Output-Schnittstelle IOS, die über ein Interface IFC auf unterschiedliche Art und Weise genutzt wird: Über eine Grafikschnittstelle wird eine Ausgabe auf einem Monitor MON sichtbar und/oder auf einem Drucker PRT ausgegeben. Eine Eingabe erfolgt über eine Maus MAS oder eine Tastatur TAST. Auch verfügt die Prozessoreinheit PRZE über einen Datenbus BUS, der die Verbindung von einem Speicher MEM, dem Prozessor CPU und der Input/Output-Schnittstelle IOS gewährleistet. Weiterhin sind an den Datenbus BUS zusätzliche Komponenten anschließbar, z.B. zusätzlicher Speicher, Datenspeicher (Festplatte) oder Scanner.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Entwurf eines technischen Systems, welches technische System eine Menge gültiger Arbeitspunkte um-  
5 faßt,
- a) bei dem das technische System eine Zielfunktion um-  
faßt, welche Zielfunktion von einem Parametervektor  $\underline{x}$   
mit n Parameterwerten beeinflußt wird;
- 10 b) bei dem ein mit einer stochastischen Größe überlager-  
ter Gradient der Zielfunktion bezüglich des Parameter-  
vektors  $\underline{x}$  bestimmt wird;
- 15 c) bei dem ein neuer Parametervektor  $\underline{x}_n$  ausgehend von dem  
Parametervektor  $\underline{x}$  mit vorgegebener Schrittweite in  
Richtung des mit einer Zufallsgröße überlagerten Gra-  
dienten ermittelt wird;
- 20 d) bei dem anhand vorgegebener Nebenbedingungen geprüft  
wird, ob der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Ar-  
beitspunkt ist oder ob eine Abbruchbedingung erfüllt  
ist;
- 25 e) bei dem, falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  kein gülti-  
ger Arbeitspunkt und die Abbruchbedingung nicht er-  
füllt sind, eine Projektion des neuen Parametervektors  
 $\underline{x}_n$  in den Raum gültiger Arbeitspunkte durchgeführt und  
zu Schritt b) verzweigt wird;
- 30 f) bei dem, falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gülti-  
ger Arbeitspunkt und die Abbruchbedingung nicht er-  
füllt sind, dieser neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  als Parame-  
tervektor  $\underline{x}$  gesetzt und zu Schritt b) verzweigt wird;
- 35

g) bei dem, falls die Abbruchbedingung erfüllt ist, der ermittelte Parametervektor als Arbeitspunkt zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt wird.

- 5    2. Verfahren nach Anspruch 1,  
bei dem die Projektion durchgeführt wird, indem eine der Nebenbedingungen ermittelt wird, die der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  nicht erfüllt, und der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  derart modifiziert wird, daß
- 10     $h_i(\underline{x}) \leq 0$
- gilt, wobei  $h_i(\underline{x})$  eine Nebenbedingung  $i$  für den Parametervektor  $\underline{x}$  bezeichnet.
- 15    3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem zusätzlich zur Projektion eine Schrittweitenhalbierung durchgeführt wird, indem der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  derart modifiziert wird, daß die Schrittweite auf einen vorgegebenen Teil verkürzt wird.
- 20    4. Verfahren nach Anspruch 3,  
bei dem der vorgegebene Teil die Hälfte ist.
- 25    5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,  
bei dem die Schrittweitenhalbierung iterativ angewandt wird, so daß eine allmähliche Annäherung an einen von den Nebenbedingungen als zulässiger Raum markierten Gebietes erfolgt.
- 30    6. Verfahren nach Anspruch 5,  
bei dem bei Unterschreiten eines vorgegebenen Abstands des neuen Parametervektors  $\underline{x}_n$  vom Rand des zulässigen Raums folgende Schritte durchgeführt werden:
- 35    a) falls ein nächster Schritt außerhalb des zulässigen Raums führt, so wird von einem aus dieser Richtung folgenden nächsten Parametervektors  $\underline{x}_{nn}$  ein Lot auf

eine Tangentialebene des Randes des zulässigen Raums gefällt und dort der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  festgelegt;

5 b) falls der nächste Schritt nicht außerhalb des zulässigen Raums führt, so wird dadurch neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  bestimmt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn eine vorgegebene Anzahl Iterationen durchgeführt worden ist.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem die Abbruchbedingung erfüllt ist, wenn der Gradient einen vorgegebenen Schwellwert unterschreitet.

15 9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Arbeitspunkt für den Entwurf des technischen Systems derjenige von mehreren ermittelten Arbeitspunkten ist, der quantitativ besten Funktionswert aufweist.

20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem das technische System anhand des Arbeitspunktes realisiert wird.

25 11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem der Gradient der Zielfunktion bezüglich des Parametervektors  $\underline{x}$ , überlagert mit einer Zufallsgröße, bestimmt ist durch

30 
$$d\underline{x} = -\nabla f(\underline{x})dt + \varepsilon \cdot dB,$$

wobei

$\underline{x}$  den Parametervektor,

$-\nabla f(\underline{x})$  den negativen Gradienten der Zielfunktion  $f$ , abhängig vom Parametervektor  $\underline{x}$ ,

35  $\varepsilon$  eine Skalierungskonstante der Zufallsgröße  $B$  und  
 $B$  die Zufallsgröße



bezeichnen.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
bei dem der Parametervektor Betriebspunkte und/oder Aus-  
legungspunkte des technischen Systems enthält.
13. Anordnung zum Entwurf eines technischen Systems, welches  
technische System eine Menge gültiger Arbeitspunkte um-  
faßt, mit einer Prozessoreinheit, die derart eingerichtet  
ist, daß
- a) das technische System eine Zielfunktion umfaßt, welche  
Zielfunktion von einem Parametervektor  $\underline{x}$  mit n Parame-  
terwerten beeinflussbar ist;
  - b) ein mit einer stochastischen Größe überlagerter Gra-  
dient der Zielfunktion bezüglich des Parametervektors  
 $\underline{x}$  ermittelbar ist;
  - c) ein neuer Parametervektor  $\underline{x}_n$  ausgehend von dem Parame-  
tervektor  $\underline{x}$  mit vorgegebener Schrittweite in Richtung  
des mit einer Zufallsgröße überlagerten Gradienten er-  
mittelbar ist;
  - d) anhand vorgegebener Nebenbedingungen überprüfbar ist,  
ob der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Ar-  
beitspunkt ist oder ob eine Abbruchbedingung erfüllt  
ist;
  - e) falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  kein gültiger Ar-  
beitspunkt ist und die Abbruchbedingung nicht erfüllt  
ist, eine Projektion des neuen Parametervektors  $\underline{x}_n$  in  
den Raum gültiger Arbeitspunkte durchgeführt und zu  
Schritt b) verzweigt wird;

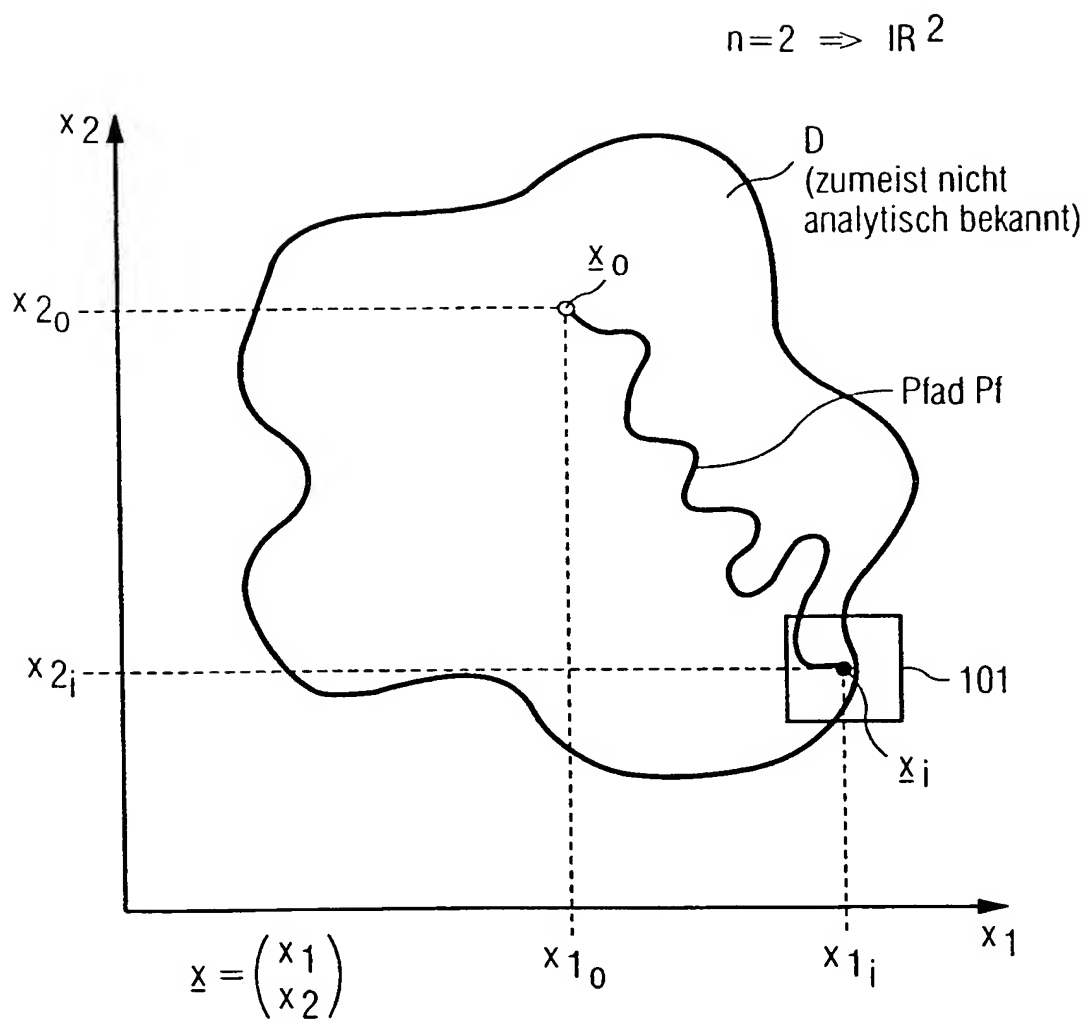
f) falls der neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  ein gültiger Arbeitspunkt ist und die Abbruchbedingung nicht erfüllt ist, dieser neue Parametervektor  $\underline{x}_n$  als Parametervektor  $\underline{x}$  gesetzt und zu Schritt b) verzweigt wird;

5

g) falls die Abbruchbedingung erfüllt ist, der ermittelte Parametervektor als Arbeitspunkt zum Entwurf des technischen Systems eingesetzt wird.

1/4

FIG 1



2/4

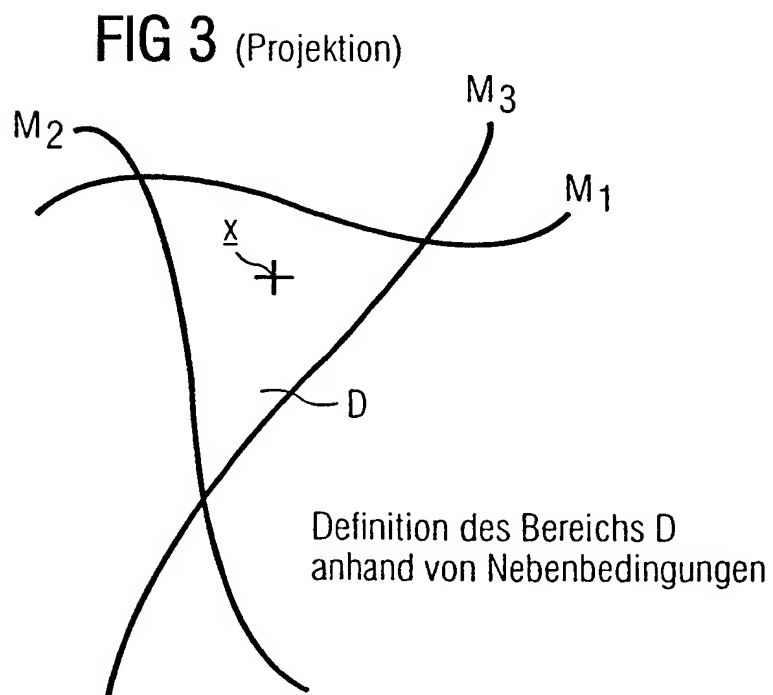
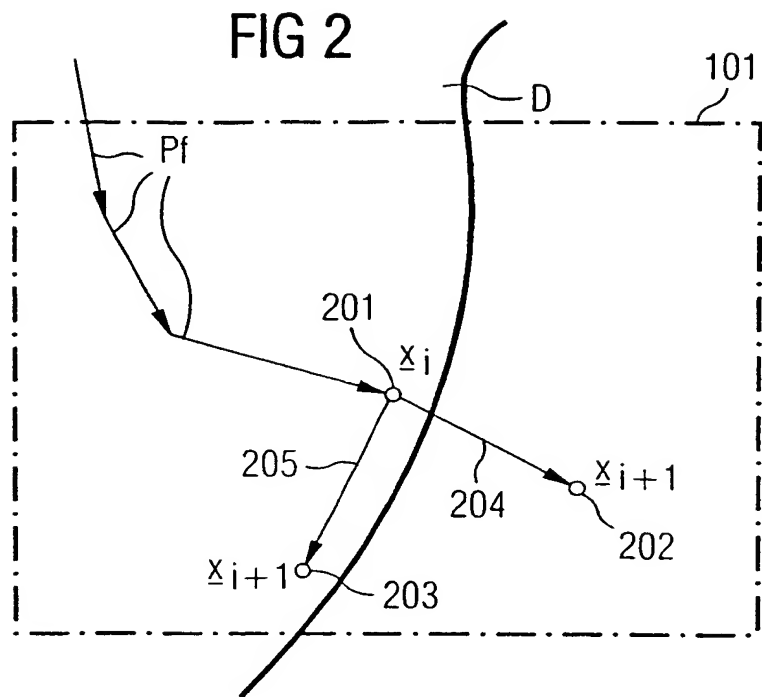


FIG 4

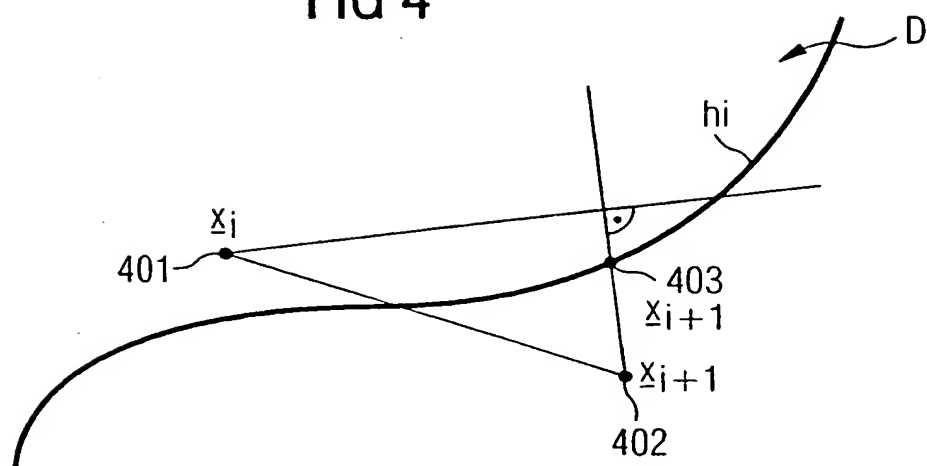
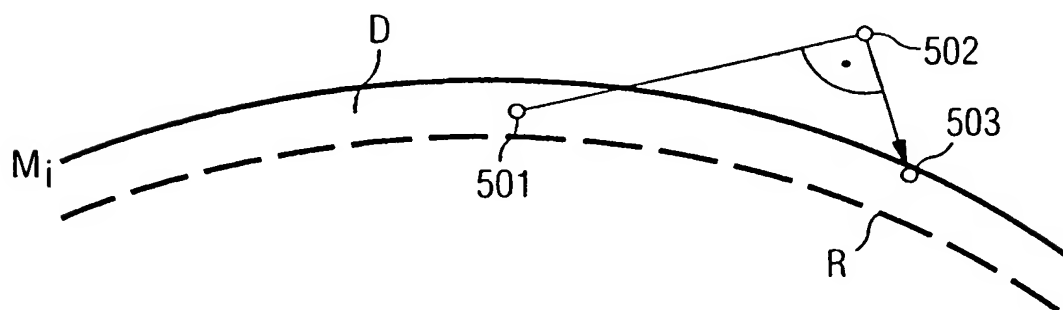


FIG 5



4/4

FIG 6

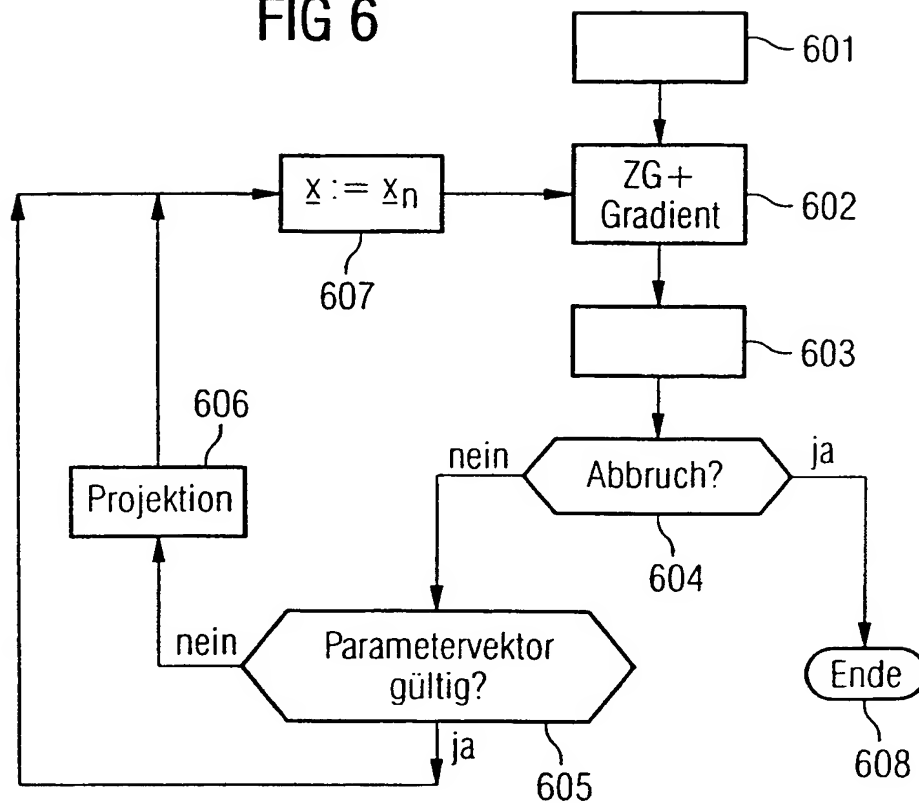
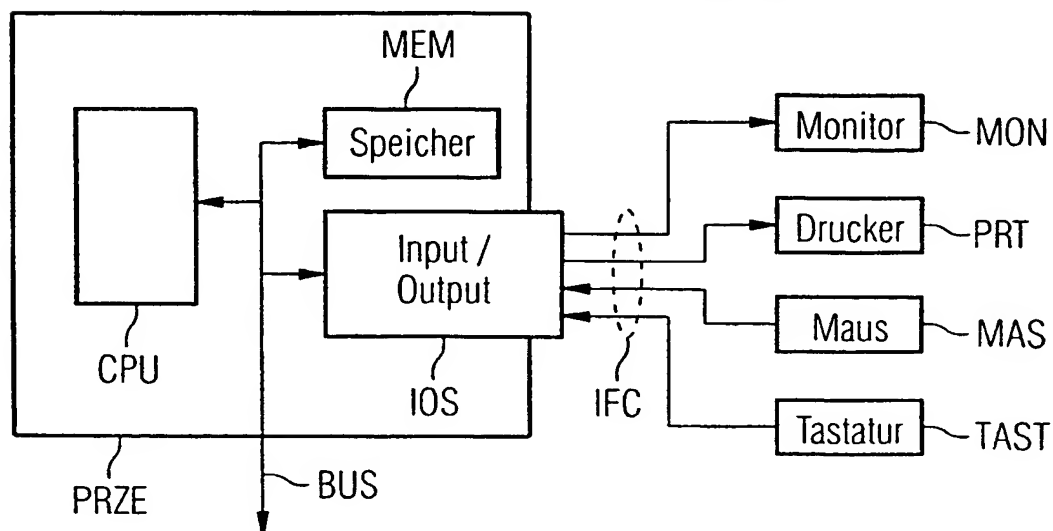


FIG 7



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/JP 00/02403

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G05B13/02

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>A.PENSA ET AL: "GRADIENT BASED RANDOM SEARCH"</p> <p>SYSTEMS FOR THE SEVENTIES, PROCEEDINGS OF THE IEEE 1970 SYSTEMS SCIENCE AND CYBERNETICS CONFERENCE,</p> <p>14 October 1970 (1970-10-14), pages 171-173, XP000964552</p> <p>USA</p> <p>page 171, left-hand column, line 1 -page 173, left-hand column, line 13</p> <p>---</p> <p>-/--</p>	1, 11, 13



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

4 December 2000

Date of mailing of the international search report

11/12/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kelperis, K

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

onal Application No

PCT/DE 00/02403

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>L.OPALSKI: "YET ANOTHER APPROACH TO STATISTICAL CIRCUIT DESIGN-STOCHASTIC MINIMAX" IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS , vol. 3, 1 May 1990 (1990-05-01), pages 2264-2267, XP000964520 USA page 2264, left-hand column, line 1 -page 2266, right-hand column, line 11 ---</p>	1,11,13
A	<p>A.NAZIN : "INFORMATIONAL INEQUALITIES IN THE PRBLEM OF GRADIENT STOCHASTIC OPTIMIZATION AND OPTIMAL REALIZABLE ALGORITHMS" AUTOMATION AND REMOTE CONTROL, vol. 50, no. 4, April 1989 (1989-04), pages 531-540, XP000964502 USSR page 531, line 23 -page 536, line 23 ---</p>	
A	<p>R.BRENNAN: "STOCHASTI OPTIMIZATION APPLIED TO A MANUFACTURING SYSTEM OPERATION PROBLEM" PROCEEDINGS OF THE 1995 WINTER SIMULATION CONFERENCE, 3 December 1995 (1995-12-03), pages 857-864, XP000965792 USA -----</p>	

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

BEST AVAILABLE COPY

page 2 of 2



## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 00/02403

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 G05B13/02

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	A. PENSA ET AL: "GRADIENT BASED RANDOM SEARCH" SYSTEMS FOR THE SEVENTIES, PROCEEDINGS OF THE IEEE 1970 SYSTEMS SCIENCE AND CYBERNETICS CONFERENCE, 14. Oktober 1970 (1970-10-14), Seiten 171-173, XP000964552 USA Seite 171, linke Spalte, Zeile 1 - Seite 173, linke Spalte, Zeile 13 --- -/--	1, 11, 13



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

4. Dezember 2000

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

11/12/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Kelperis, K

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	L.OPALSKI: "YET ANOTHER APPROACH TO STATISTICAL CIRCUIT DESIGN-STOCHASTIC MINIMAX" IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CIRCUITS AND SYSTEMS , Bd. 3, 1. Mai 1990 (1990-05-01), Seiten 2264-2267, XP000964520 USA Seite 2264, linke Spalte, Zeile 1 -Seite 2266, rechte Spalte, Zeile 11 ---	1,11,13
A	A.NAZIN : "INFORMATIONAL INEQUALITIES IN THE PRBLEM OF GRADIENT STOCHASTIC OPTIMIZATION AND OPTIMAL REALIZABLE ALGORITHMS" AUTOMATION AND REMOTE CONTROL, Bd. 50, Nr. 4, April 1989 (1989-04), Seiten 531-540, XP000964502 USSR Seite 531, Zeile 23 -Seite 536, Zeile 23 ---	
A	R.BRENNAN: "STOCHASTIC OPTIMIZATION APPLIED TO A MANUFACTURING SYSTEM OPERATION PROBLEM" PROCEEDINGS OF THE 1995 WINTER SIMULATION CONFERENCE, 3. Dezember 1995 (1995-12-03), Seiten 857-864, XP000965792 USA -----	